

非接触・空中伝搬超音波による変位測定の見直し

Evaluation of measuring displacement by Non Contact Air Coupled Ultrasonic Testing

大平 克己

菊池 和幸

桐生 啓二

小倉 幸夫

KATSUMI OHIRA

KAZUYUKI KIKUCHI

KEIJI KIRYU

YUKIO OGURA

ジャパンプローブ株式会社

JAPAN PROBE CO., LTD.

非接触で空中から数十 mm 程度以内のワークの距離や変位を測定する方法としてはレーザーが主流である。しかしながら、レーザーでは測定し難いワークもある、例えば光吸収の大きい黒いゴムや透明なものは表面反射が小さく測定が困難であり、また半透明なものは表面反射に裏面反射などが重なり測定が難しくなる。

これに対して空中超音波の反射法を用いれば、どんなワークでも表面反射のみで測定が可能となる。今回ワークの変位を 2MHz の集束型超音波エアプローブを用いて反射法により、空中からマイクロオーダーでリアルタイムに測定できることを確認したので報告する。

KEYWORDS : Displacement、 Focused Air Probe

1. 緒言

変位または距離を測定する機器として、超音波やレーザーを用いて測定するものが市販されている。近年は特にレーザー計測技術が発展してきており、超音波計測技術の適用範囲が狭くなりつつある。しかしながら、レーザー光では反射率の低い透明体や低い黒ゴム、反射率が急激に変化する色柄や異種材料、鏡面などで種々の影響により大きな測定誤差が生じる場合があり、各メーカーからその対策として種々のハードウェアとソフトウェアでの工夫がなされた多種多様な機種が販売されており、その機種の選定に手間取ることがあるようだ。一方、超音波では材質の影響を受けないため、レーザーでは不得意な前記のワークに適用されている。しかしながら、現在市販のものでは分解能の良いものでも 1mm 程度と、レーザーに比べてはるかに劣るものである。但し、試作レベルでは、平坦なプローブを用いてバースト波を用い、平行な平面からの反射法として 10 μm の精度で測定システムを構築した例も見られるが、平行でない平面が図れず、曲面なども測定が出来ないという欠点があった¹⁾。一方、研究開発のレベルでは超音波を干渉計の原理を用いてサブミクロンの精度での計測を行っている研究もあるが透過法での測定となっている²⁾。いずれの方法も適用範囲が限られてしまうという課題が残されていた。

ここでは超音波反射法で点集束エアプローブを用い、A モード測定を行うという、比較的簡単な手法で、材質や形状によらない変位計測がどこまでの精度で実現できるかを検証する。これにより、近年レーザー計測技術が用いられていた分野に対しても、対抗できる技術であることを実証し、非破壊評価の超音波分野を盛り上げていきたい。

Table 1 Specifications and Applications of Displacement Sensors

センサ方式	原理	分解能	備考
超音波	反射法	最高 1mm 程度	400kHz 以下の超音波を用い、高分解能は目指していない。
レーザー	変調光ヘテロダイン干渉方式	超高分解能 20pm	光の反射率の悪いものは測定困難
レーザー	共焦点	高分解能	測定距離範囲が狭い
レーザー	三角測量	中分解能	設置角度により測定に可否が生じる

2. 点集束エアプローブを用いた測定精度確認

測定精度確認のため、図1の測定環境で、図2の精度検証用ジグを試作した。点集束エアプローブとして、公称 2MHz（有効振動子径 15、焦点距離 15mm : 2K15 R15）を用い、デジタルマイクロメーター（ミットヨ製 MHD25H、狭範囲精度 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ ）に取り付けた反射板に対向させて配置した。鋼製チャンパー内に熱電対を取付け、上部にはアクリルの除き窓を取り付け、内部の様子を観察できるようにした。エアコンにより温度調整を行う。温度はチャンパー内側と外側をモニタリングする。これにより、簡易的ではあるが、温度による測定の誤差を排除した。超音波の測定には JPR-600C を用い、デジタルマイクロメーターにより反射板を左右に動かし、反射波の A-モード、時間波形または B-モード測定を行った。

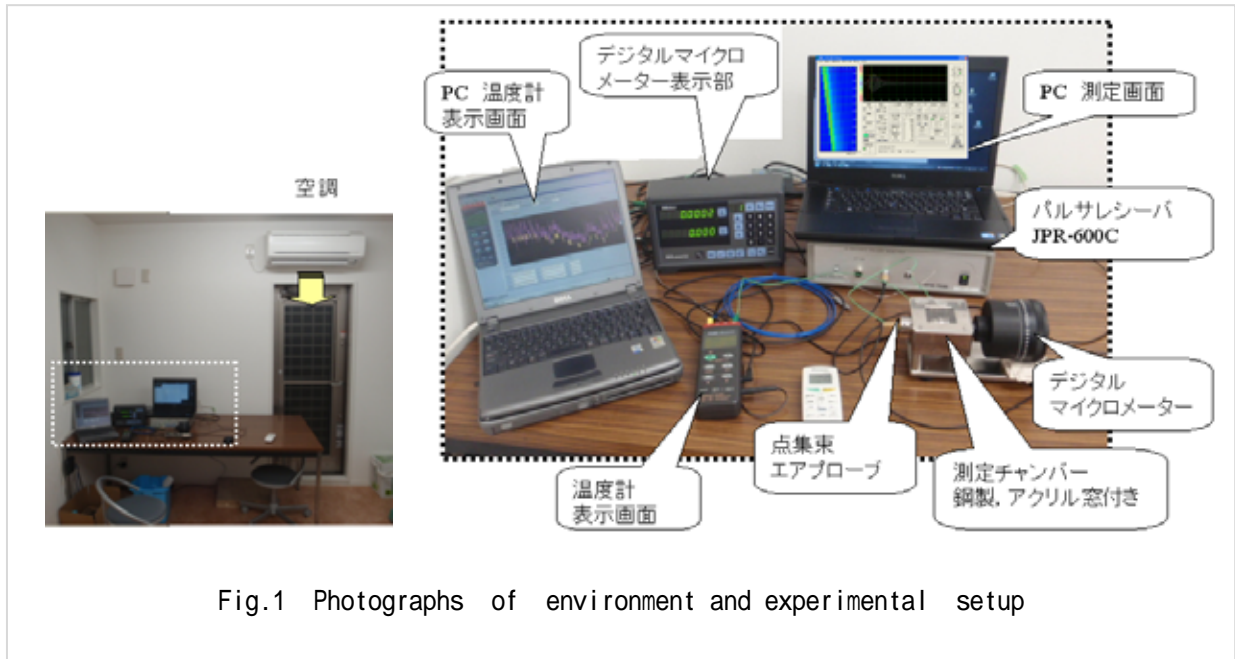


Fig.1 Photographs of environment and experimental setup

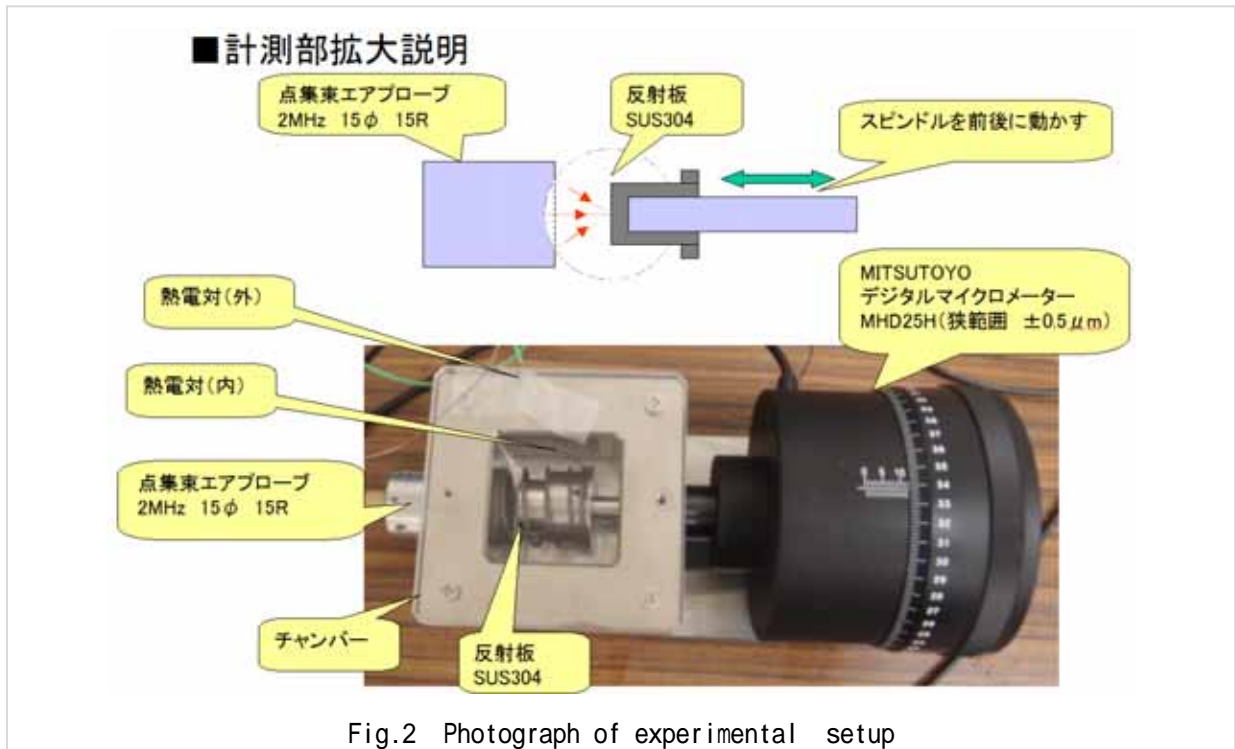


Fig.2 Photograph of experimental setup

測定波形の例として図3に焦点位置に反射板を合わせた波形を示す。26.5℃で約83μsに反射波1回目、約166μsに反射波2回目を確認できる。以後、反射波1回目に着目して計測を行う。図4に詳細測定の例を示す。これは、上記の焦点位置を中心として0.100mm(100μm)刻みに±0.500mm(500μm)を移動しながらBモード測定を行った例である。なお、この一連の測定は1分以内の短時間で行っており、温度変化は0.1℃以内であった。図中Aモード表示は-0.500mmの位置の時間波形である。図左のBモード表示でマイクロメータヘッド位置が等間隔の階段状に変化していることが分かる。各々の時間波形からピークを検出することにより、1番目のピーク、2番目のピークの時間を

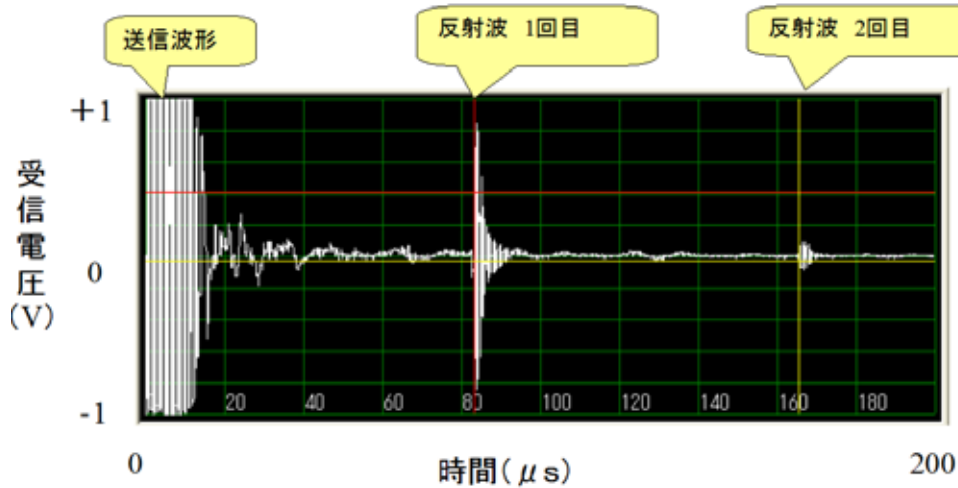


Fig.3 A-mode Scope (2MHz :2K15 R15)

■詳細測定例

26.5℃において15mmの位置を中心として0.100mm(100μm)刻みに±0.500mm移動して、反射波を測定 (Bモード表示)

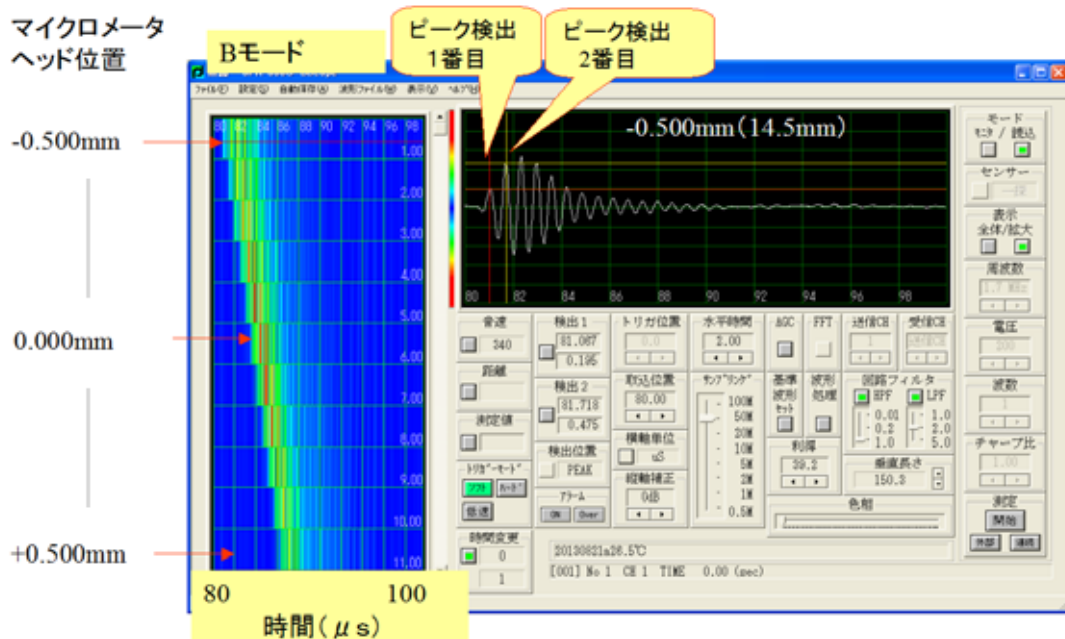


Fig.4 B-mode Scope and it's example of A-mode Scope (2MHz :2K15 R15)

まとめて表にした(表2)。従って、これをグラフ化すると図5となり、各々のピークを線形近似すると以下の通り、非常に良い相関があることが分かった。また、1番目のピークと2番目のピークでは傾きが異なることも分かった。ピークを正しく検出すれば、0.1 以内の温度変化であれば0.01 μm程度以内での測定が十分可能であることが実証できた。次に、エアコンの温度調整 26 と一定にして、10 時間の連続 B-モード測定を行った例を図6に示す。温度()が 26.6 26.3 26.4 と変化するに連れて、伝搬時間(μs)が 83.83 5 83.865 83.847 と変化していく様子が分かる。ここで、温度計の表示が0.1 刻みのため、離散的になっているが、伝搬時間は分解能があり、このことからエアプローブは温度に敏感なセンサであることも分かる。

Table2 Relationship between displacement of reflector and propagation time

距離 (mm)	ピーク時間(μs)	
	1 番目	2 番目
-0.500	81.067	81.718
-0.400	81.637	82.275
-0.300	82.189	82.826
-0.200	82.746	83.376
-0.100	83.299	83.926
0.000	83.853	84.476
0.100	84.400	85.022
0.200	84.947	85.572
0.300	85.496	86.124
0.400	86.038	86.671
0.500	86.582	87.223

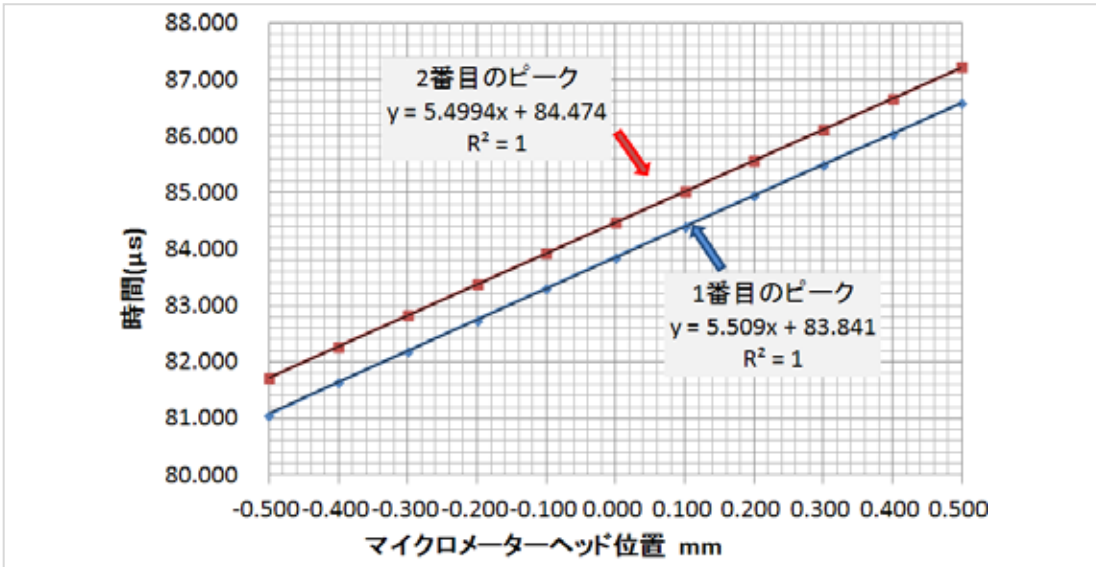


Fig.5 Relationship between displacement of reflector and propagation time

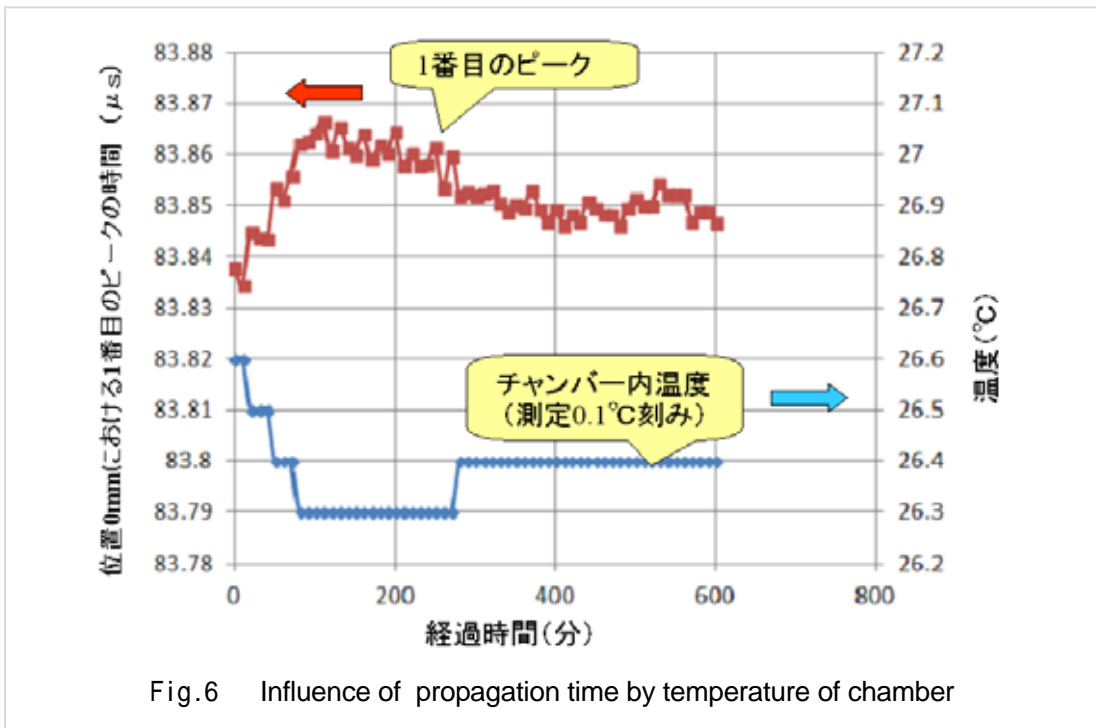
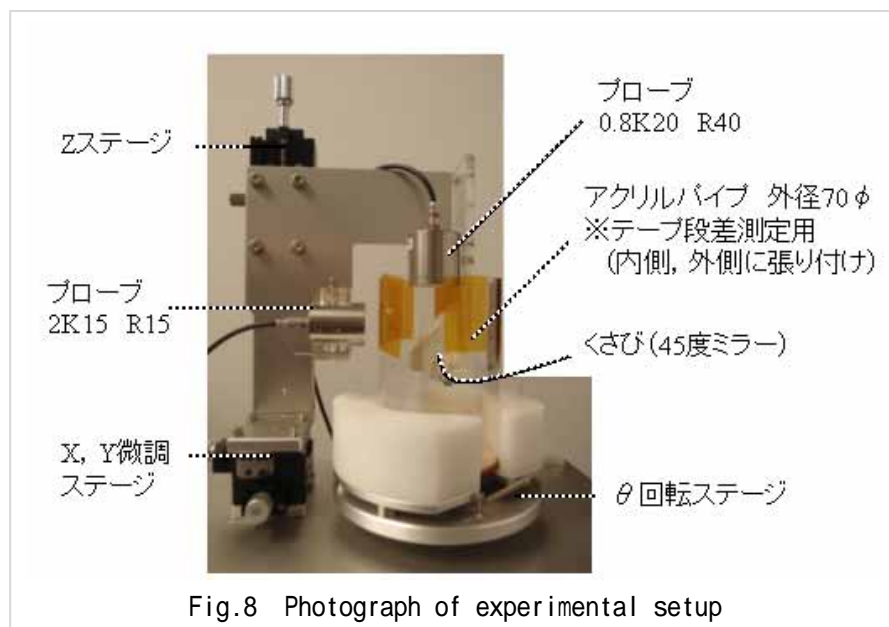
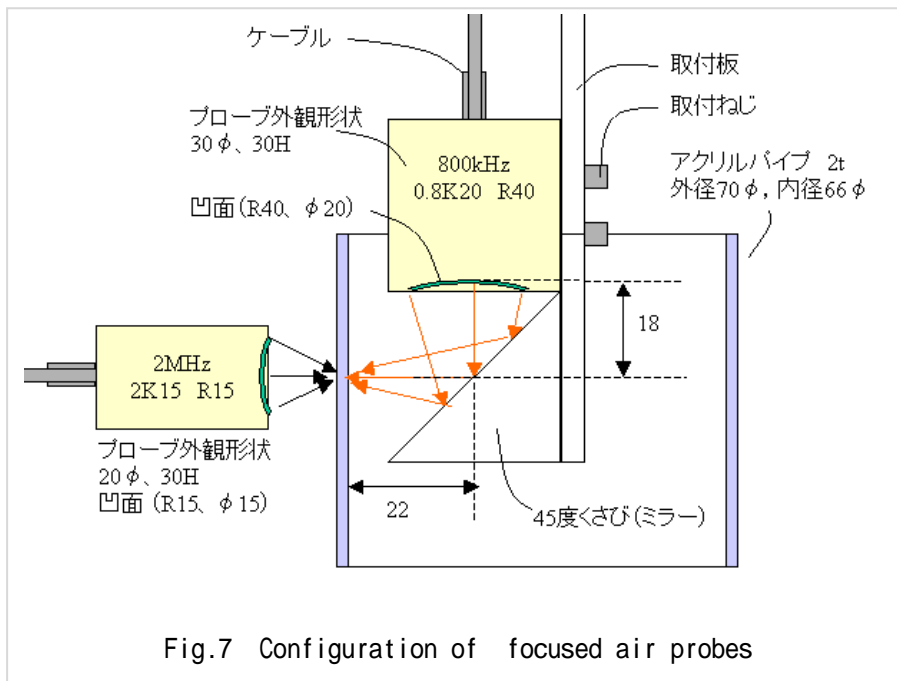
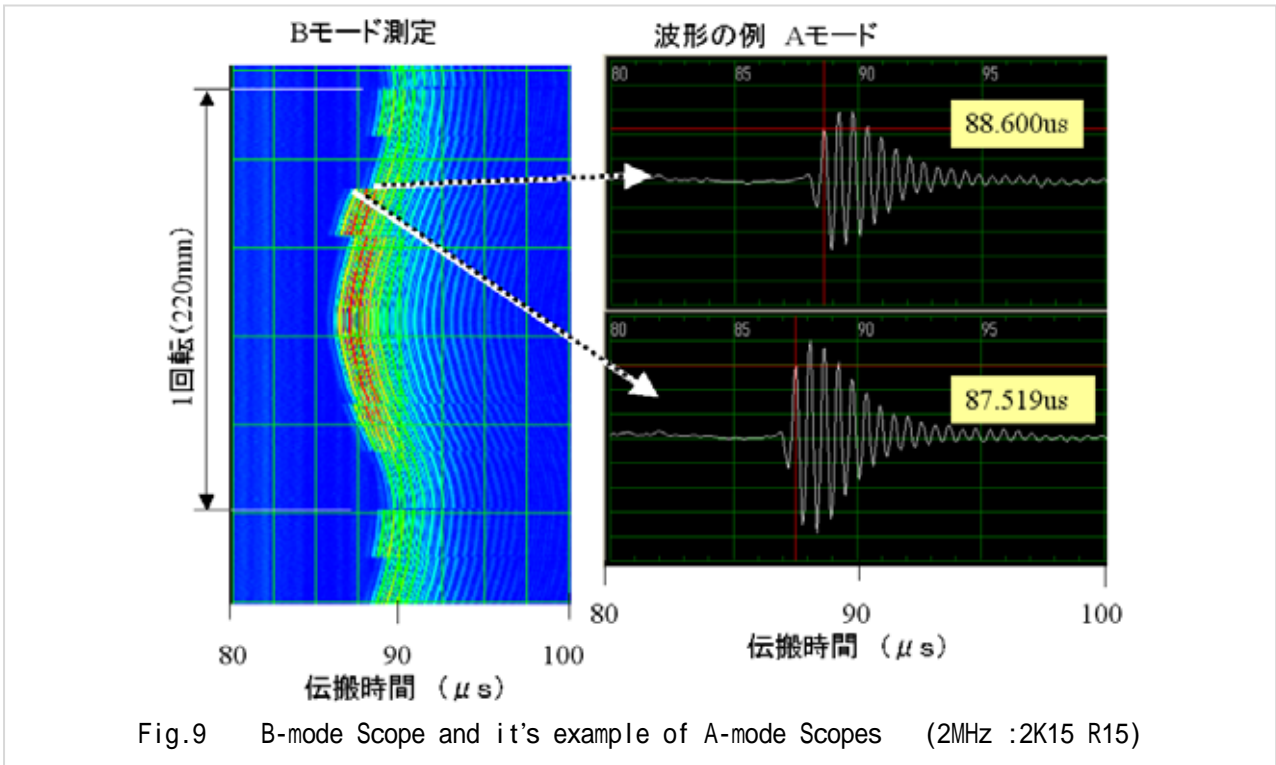


Fig.6 Influence of propagation time by temperature of chamber

3. 応用測定例

図7、図8のように 外径70 内径66 のアクリルパイプの内外に点集束エアプローブを配置した。外側の測定は前節で用いた2K15 R15のプローブを用いた。内側の測定については、長焦点距離のプローブ公称800kHz 有効振動子径20、焦点距離40mm(0.8K20 R40)を用いて、45度のミラー方式の有効性についても検討を行った。ポリイミドテープ60 μ m厚さ(幅25mm)のテープを1枚(60 μ m)、2枚(120 μ m)、3枚(180 μ m)と厚みを変えてアクリルパイプの内側と外側に巻いて、段差模擬サンプルとした。超音波の反射波の測定にはJPR-600Cを用いた。各プローブはアクリルパイプと図7のようにほぼ焦点距離に合うように調整した。また、段差模擬付きのアクリルパイプは 回転ステージにより、スピードを調整しながら回転させて、B-モード測定を行った。図9にパイプ外側を2rpmで回転しながらBモード測定した結果と時間波形の例を示した。図で1回転と表示したところが1周220mmの測定結果である。変位と位置(mm)に換算した結果を図10に示す。左から2枚、3枚、1枚、2枚の25mm幅のテープが貼られていることが分かる。また全体として、変位のうねり(変心および厚さムラ起因と思われる)は約0.6mmとなっていることも分かる。また内側からの測定は図11となり、左から1枚、2枚、3枚、1枚の25mm幅のテープが貼られていることが分かる。また変位のうねりは約0.4mmとなることも分かる。



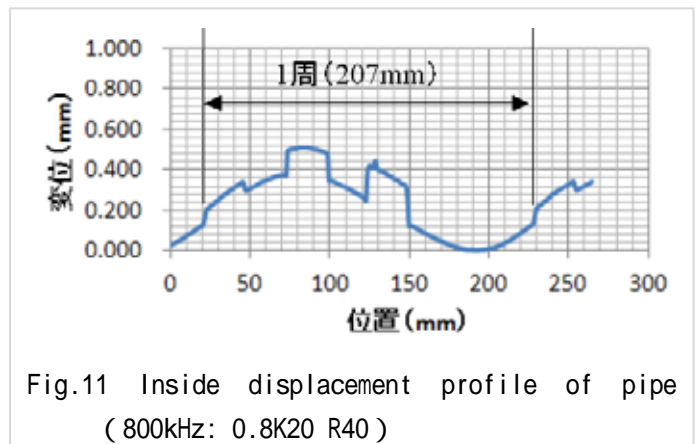
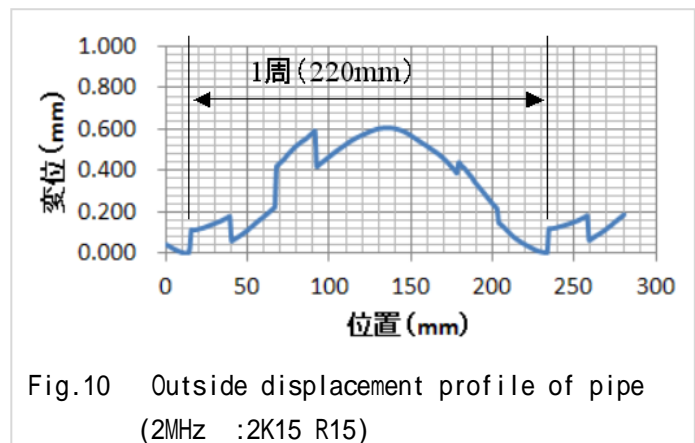


4.まとめ

超音波反射法により 2MHz 点集束超音波エアプローブを用いて、0.1 の温度変化以内であれば 0.01mm (10 μm) を超える精度で変位計測が可能なが確認できた。特に、段差などを測定する場合には隣り合う測定が短時間であることから段差測定精度は数 μm まで可能と考えられる。

また、長焦点距離を持った点集束超音波エアプローブを用い、45度ミラーを配置することでパイプ内側から変位・段差測定を行えることが分かった。

今後はニーズに合わせて、プローブを試作し、反射体による測定精度などの検証も行う予定である。



参考文献

- 1) 堀内正一：「超高分解能空气中非接触超音波計測システム」，オートメーション，45，30/38(2000)
- 2) 佐々木克浩ら：「40kHz の空中超音波を用いたサブ μm の変位検出法」計測自動制御学会東北支部 第 217 回研究集会 (2004.7.15) 資料番号 217-15